

ANALYSIS OF ROAD EMBANKMENT STABILITY IN THE CONDITIONS OF FLOOD WATER ATTACK

ANALIZA STATECZNOSCI NASYPU DROGOWEGO W WARUNKACH ATAKU WODY POWODZIOWEJ

Wojciech Kozłowski*

ABSTRACT

The object of the article is the embankment, located at the road, in the area of flood danger. For the calculation scheme an analysis of fluctuation of values of stability factors was prepared. Following loads were examined: specific weight and exploitation load and also load from damming up water. Using the Fellenius and Bishop method the values of stability factor in function of damming up water height were estimated.

Key words: road embankment, flood water, stability

1. WPROWADZENIE

Rozpatrywany jest nasyp komunikacyjny klasyczny o przyjętym schemacie obliczeniowym. Nie zastosowano wzmocnień nasypu w korpusie oraz w skarpach. Przedstawiono wybrane elementy analizy stateczności nasypu, biorąc pod uwagę wpływ obciążenia ciężarem własnym i obciążenia eksploatacyjnego, równomiernie rozłożonego na koronie o zmiennej intensywności. Rozpatrywane są także warunki zagrożenia powodzią, czyli uwzględnia się wpływ jednostronnego piętrzenia wody i dodatkowe podtopienie wodą skarpy z przeciwnej strony. Obliczenia i analizę zmian wartości współczynnika stateczności wykonano metodą Felleniusa i Bishopa [1]. Stosowano autorskie oprogramowanie [1, 2]: program SZMFiB-Stateczność zboczy metodą Felleniusa i Bishopa oraz program FILTR-Filtracja ustalona w nasypach ziemnych piętrzących wodę.

Schematem obliczeniowym jest nasyp jednorodny, zlokalizowany na podłożu odkształcalnym o takich parametrach jak nasyp []. Wysokość nasypu wynosi $H = 5$ m,

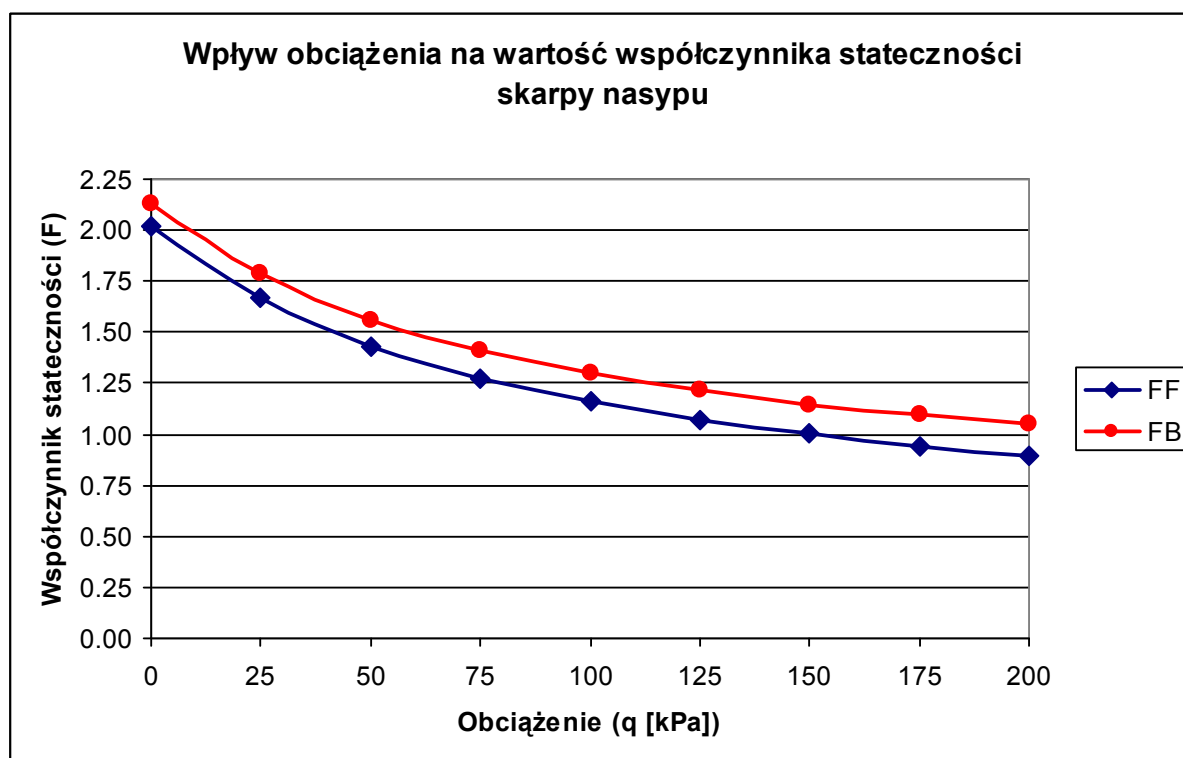
* dr inż. Wojciech Kozłowski: Opole University of Technology, Department of Roads and Bridges, ul. Ozimska 75A, 45 – 368 Opole, e-mail: w.kozlowski@po.opole.pl

nachylenie skarp 1:1,5; ciężar objętościowy gruntu $\gamma = 17,0 \text{ kN/m}^3$. Cechy geometryczne obiektu i efektywne parametry wytrzymałościowe podano na rysunku 2.

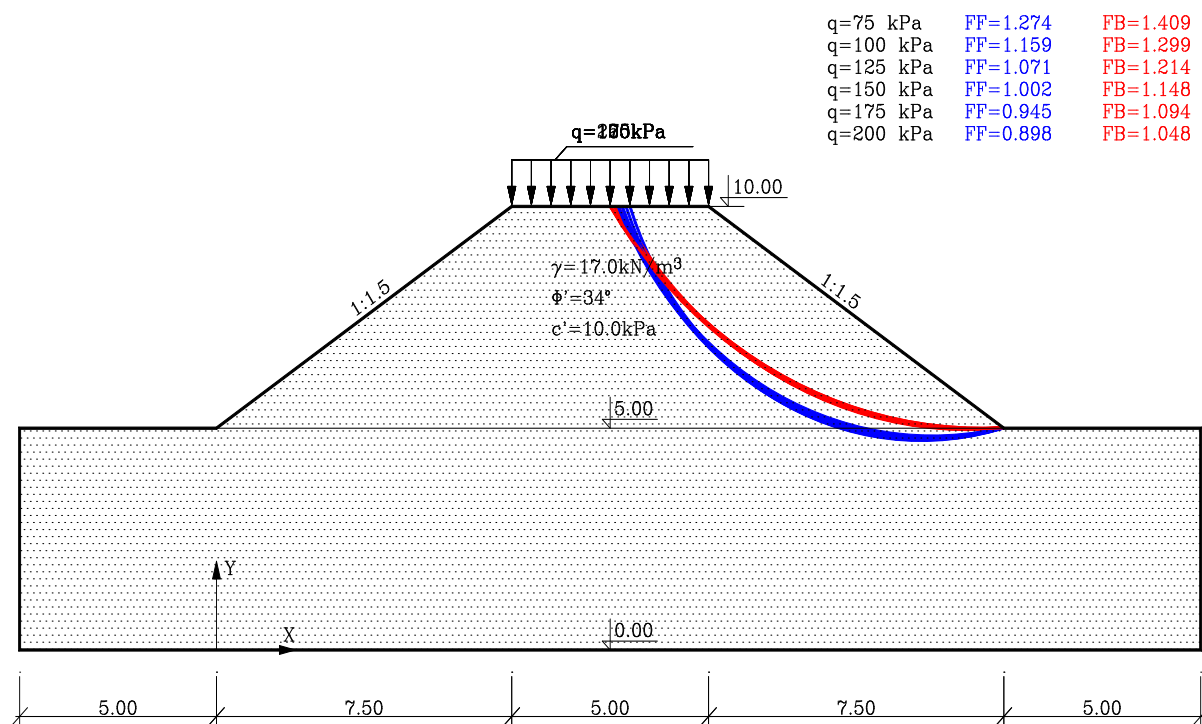
2. WPLYW OBCIĄŻENIA NASYPU

W przypadku obciążenia ciężarem własnym, po wykonaniu analizy stanu naprężeń, stwierdzono przewagę naprężeń utrzymujących skarpe w równowadze nad wartością naprężeń naruszających równowagę.

Następnie określono wpływ wartości równomiernie rozłożonego statycznego obciążenia, na przebieg powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności oraz na wartość tego współczynnika. Przyjęto obciążenie w zakresie $q = 25 \text{ kPa}-200 \text{ kPa}$, natomiast interwał zmienności $\Delta q = 25 \text{ kPa}$. Szczegóły wyników obliczeń znajdują się w opracowaniu []. Zmienność współczynnika stateczności w funkcji intensywności obciążenia ilustruje rys. 1. Obciążenie powyżej 100 kPa powoduje naruszenie warunków równowagi, więc skarpa nasypu jest niestateczna. Na rysunku 2 przedstawiono krzywe odwzorowujące potencjalne powierzchnie poślizgu wyznaczone obiema metodami. Powierzchnie otrzymane metodą Felleniusa wykazują przebieg głębszy, czyli charakteryzują się bardziej wydatną krzywizną.



Rys. 1. Zmienność współczynnika stateczności w funkcji intensywności obciążenia zlokalizowanego na koronie nasypu: FF-metoda Felleniusa; FB-metoda Bishopa



Rys. 2. Przebieg potencjalnych powierzchni poślizgu wyznaczonych metodą Felleniusa i Bishopa

3. WPŁYW PIĘTRZENIA WODY

Przepływ wody przez korpus nasypu, wywołany stanem piętrzenia, powoduje obciążenie w postaci sił hydrodynamicznych. Wartości tych sił zależą od różnicy potencjałów w poszczególnych punktach obszaru filtracji. W obu sygnalizowanych powyżej metodach obliczeń jest możliwe uwzględnienie wpływu filtracji na wartość sił utrzymujących i naruszających równowagę. Analizę wpływu piętrzenia wody na stateczność skarpy nasypu wykonano przyjmując poziom piętrzenia na wysokościach: $0,25H$; $0,5H$; $0,75H$ oraz $1,0H$ (H jest wysokością nasypu). W pierwszej kolejności wyznaczono położenie swobodnego zwierciadła wody w nasypie, przy założonych poziomach piętrzenia. Obliczenia wykonano przy użyciu programu numerycznego FILTR [2], opartego na zasadach metody elementów skończonych. Otrzymane rezultaty przy danym poziomie piętrzenia przedstawiono w publikacji [], w postaci rozkładu prędkości i siatki hydrodynamicznej. W opracowaniu [] zaprezentowano także dyskretyzację obszaru filtracji przy różnych poziomach piętrzenia.

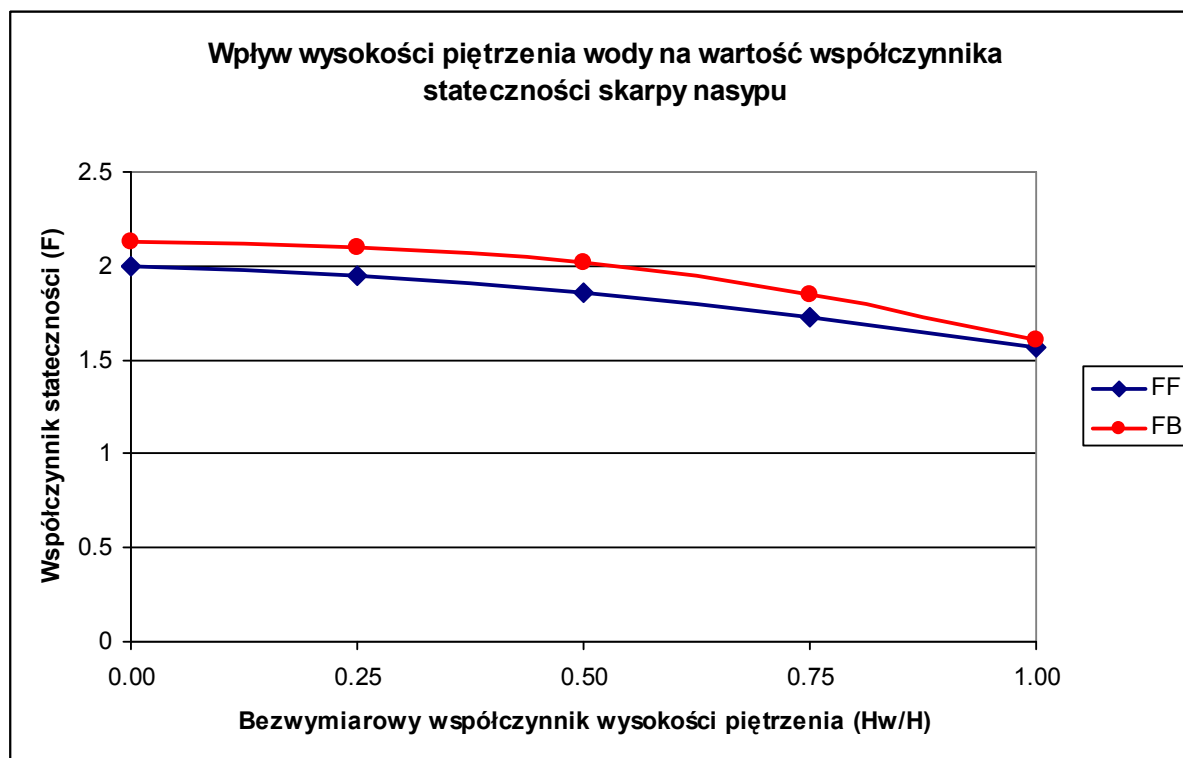
W dalszej kolejności oszacowano przebieg powierzchni poślizgu o najmniejszej wartości współczynnika stateczności przy zadanych poziomach piętrzenia wody. Zmienność współczynnika stateczności o minimalnej wartości, w zależności od poziomu piętrzenia wody pokazano na rysunku 3. Natomiast parametry wyznaczonych powierzchni zestawiono w tablicach 1 i 2. Przebieg wszystkich wyznaczonych powierzchni poślizgu jako wynik końcowy ilustruje rys. 4. Powierzchnie poślizgu wyznaczone metodą Felleniusa sięgają głębiej w podłoże i mają szerszy zasięg. Spełniony jest wymagany warunek stateczności.

Tablica 1. Zestawienie parametrów dotyczących powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności obliczonym metodą Felleniusa, dla skarpy nasypu piętrzącego wodę

Poziom piętrzenia wody Hw/Hn	Współczynnik stateczności FF	Współrzędne punktów charakterystycznych kołowych powierzchni poślizgu						Promień powierzchni poślizgu R [m]
		Początek		Koniec		Środek		
		Xp[m]	Yp[m]	Xk[m]	Yk[m]	Xo[m]	Yo[m]	
0.00	2.001	11.0	10.0	21.4	5.0	18.131	11.526	7.290
0.25	1.950	11.0	10.0	21.6	5.0	18.002	11.119	7.090
0.50	1.861	11.0	10.0	21.6	5.0	17.939	10.985	7.007
0.75	1.729	11.1	10.0	21.4	5.0	17.867	10.841	6.818
1.00	1.564	10.9	10.0	20.9	5.0	17.823	11.356	7.052

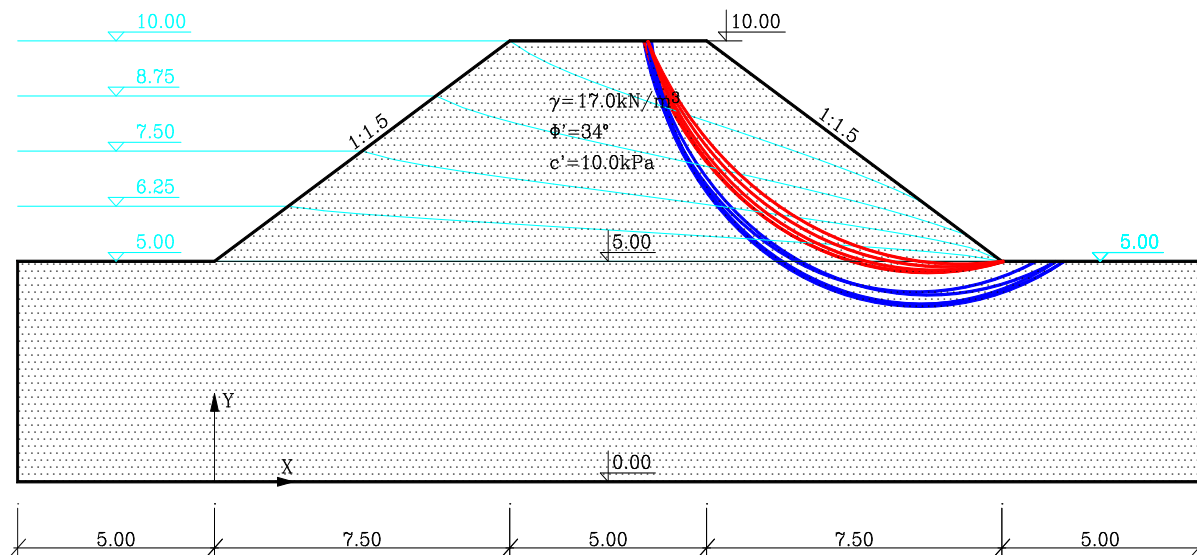
Tablica 2. Zestawienie parametrów dotyczących powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności obliczonym metodą Bishopa, dla skarpy nasypu piętrzącego wodę

Poziom piętrzenia wody Hw/Hn	Współczynnik stateczności FB	Współrzędne punktów charakterystycznych kołowych powierzchni poślizgu						Promień powierzchni poślizgu R [m]
		Początek		Koniec		Środek		
		Xp[m]	Yp[m]	Xk[m]	Yk[m]	Xo[m]	Yo[m]	
0.00	2.125	11.0	10.0	20.1	5.0	18.964	13.724	8.787
0.25	2.099	11.0	10.0	20.1	5.0	18.614	13.086	8.212
0.50	2.016	11.0	10.0	20.1	5.0	18.306	12.526	7.727
0.75	1.849	11.0	10.0	20.1	5.0	18.120	12.187	7.445
1.00	1.605	10.9	10.0	20.1	5.0	18.137	12.361	7.609



Rys. 3. Zmienność współczynnika stateczności w funkcji wysokości piętrzenia wody; FF-metoda Felleniusa; FB-metoda Bishopa

FF=2.001 FB=2.125
 FF=1.950 FB=2.099
 FF=1.861 FB=2.016
 FF=1.729 FB=1.849
 FF=1.564 FB=1.605



Rys. 4. Przebieg powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności przy założonych poziomach piętrzenia wody

4. SKARPA PODTOPIONA

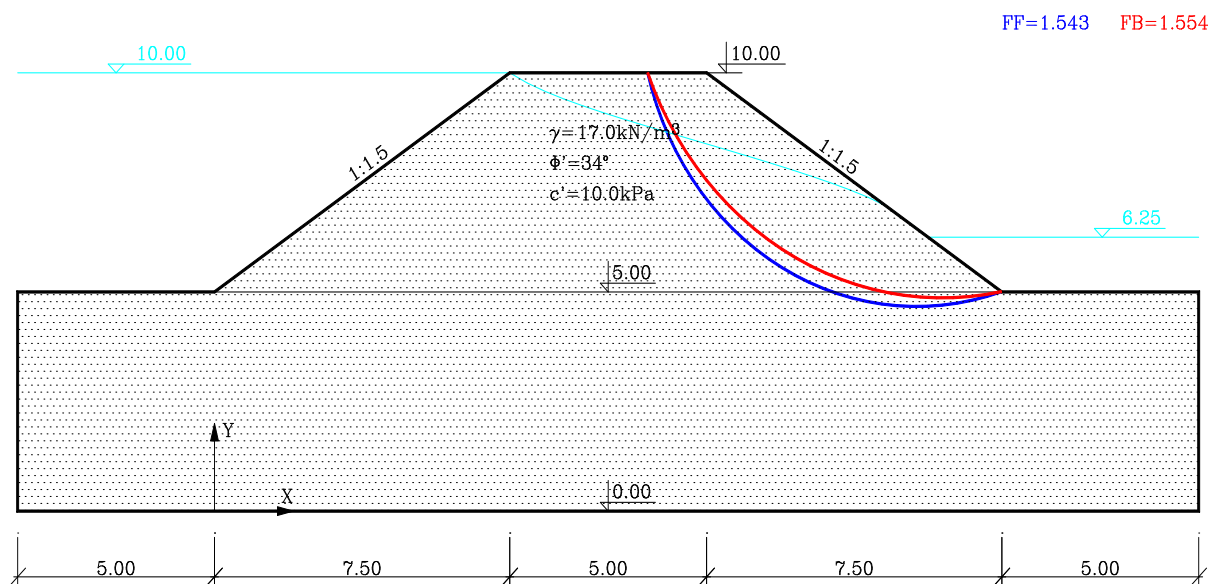
Rozpatrywana jest sytuacja, gdy przy piętrzeniu na poziomie równym wysokości nasypu H , skarpa po przeciwnej stronie jest dodatkowo podtopiona do wysokości $H_d = 0,25H$. Dyskretyzacja (na elementy trójkątne) obszaru filtracji, rozkład prędkości i siatka hydrodynamiczna są przedstawione w opracowaniu [1]. Szczegóły dotyczące wyznaczenia powierzchni o najmniejszym współczynniku stateczności znajdują się także w publikacji [2]. Natomiast wartości liczbowe parametrów opisujących wyznaczone powierzchnie zamieszczono w tablicach 3 i 4. Rysunek 5 ilustruje powierzchnie wyznaczone obiema metodami. Cechą charakterystyczną otrzymanych wyników jest niewielka różnica między wartościami współczynnika stateczności, obliczonymi metodą Felleniusa i Bishopa ($\Delta F = FB - FF = 0,011$).

Tablica 3. Zestawienie parametrów dotyczących powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności obliczonym metodą Felleniusa, dla skarpy podtopionej ($H_p/H_n = 0.25$) nasypu piętrzącego wodę

Poziom piętrzenia wody H_w/H_n	Współczynnik stateczności FF	Współrzędne punktów charakterystycznych kołowych powierzchni poślizgu						Promień powierzchni poślizgu R [m]
		Początek		Koniec		Środek		
		X_p [m]	Y_p [m]	X_k [m]	Y_k [m]	X_o [m]	Y_o [m]	
1.00	1.543	11.0	10.0	20.0	5.0	17.836	11.714	7.045

Tablica 4. Zestawienie parametrów dotyczących powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności obliczonym metodą Bishopa, dla skarpy podtopionej ($H_p/H_n = 0.25$) nasypu piętrzącego wodę

Poziom piętrzenia wody H_w/H_n	Współczynnik stateczności FB	Współrzędne punktów charakterystycznych kołowych powierzchni poślizgu						Promień powierzchni poślizgu R [m]
		Początek		Koniec		Środek		
		X_p [m]	Y_p [m]	X_k [m]	Y_k [m]	X_o [m]	Y_o [m]	
1.00	1.554	11.0	10.0	20.0	5.0	18.485	12.883	8.018



Rys. 5. Przebieg powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności przy poziomie piętrzenia równym wysokości nasypu H i podtopionej skarpy do wysokości $0.25 \cdot H$.

5. PODSUMOWANIE

Wykonano analizę stateczności nasypu komunikacyjnego, biorąc pod uwagę obciążenie ciężarem własnym i obciążenie eksploatacyjne równomiernie rozłożone na koronie nasypu. Uwzględniono także wpływ piętrzenia wody, która mogłaby pojawić się wskutek np. powodzi. Rozpatrzono ponadto przypadek, w którym przy piętrzeniu na poziomie równym wysokości nasypu (H), skarpa z przeciwnej strony jest podtopiona do wysokości $0,25 H$. Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie [1, 2], potwierdzając jego przydatność. Rozpatrując wpływ obciążenia eksploatacyjnego, na zasadzie analizy kształtu krzywych poślizgu stwierdzono, że wartość obciążenia nie wpływa w sposób znaczący na przebieg powierzchni poślizgu.

Biorąc pod uwagę wpływ pojawiającej się wody powodziowej oszacowano:

- przebieg powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności w nasypie z wodą gruntową na poziomie terenu oraz przy różnych poziomach piętrzenia,
- zmienność najmniejszego współczynnika stateczności w zależności od poziomu piętrzenia wody.

Istotne spostrzeżenie dotyczy także powierzchni poślizgu wyznaczonych metodą Felleniusa: sięgają one głębiej w podłoże i mają szerszy zasięg.

W przypadku skarpy podtopionej, stwierdzono nieznaczną różnicę w wartościach współczynnika stateczności, obliczonego metodą Felleniusa i Bishopa ($\Delta F = FB - FF = 0,011$).

LITERATURA

- [1] Balawejder A., Program SZMFiB-Stateczność zboczy metodą Felleniusa i Bishopa. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska, Wrocław 2007.
- [2] Balawejder A., Program FILTR-Filtracja ustalona w nasypach ziemnych piętrzących wodę. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska, Wrocław 2008.
- [3] Surowiecki A., Balawejder A., Kozłowski W., Badanie możliwości wzmacniania nasypów kolejowych przy zastosowaniu zbrojenia gruntu, lekkich konstrukcji oporowych i maty komórkowej. Raport serii SPR nr 6, projekt Bad. MNiI nr 5 T07E 06024, Politechnika Wrocławska, Instytut Inż. Łąd., Wrocław 2006.

Článok recenzoval:
doc. Ing. Ladislav Novák, PhD.



This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



students

teachers

Competency Based e-portal of Security and Safety Engineering

www.esecportal.eu

professionals

researchers

- SECURITY MANAGEMENT
- RISK MANAGEMENT
- CRISIS MANAGEMENT
- EMERGENCY MANAGEMENT
- QUALITY MANAGEMENT

- CIVIL PROTECTION
- CRIME PREVENTION
- ENVIRONMENTAL SECURITY
- ECONOMIC AND FINANCIAL SECURITY
- INFORMATION SECURITY
- FIRE PREVENTION
- OCCUPATION AND HEALTHY SAFETY

eSEC portal will support the interconnection of education within European specialist community in the field of security. Educational institutions can offer their pedagogical activities to the target group, whereas, the organisations from the commerce sphere will provide the contents for individual modules (documents, articles, blogs, presentations, etc.) and concurrently they will have a possibility to obtain and improve their own expert and didactic skills. Users acquire an overview of the study programmes and courses providing specific competences, which can be attended at various European universities, as well as an overview of European scholarships supporting these studies abroad.

www.esecportal.eu